


УДК 658.264
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-4-32-43

Научная статья



Анализ жизненного цикла парогазотурбинных ТЭЦ

В. И. Беспалов ✉, **О. С. Гурова**, **Е. П. Лысова**, **Г. С. Гришин**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ izos-rgsu@mail.ru

Аннотация

Введение. При выборе оптимальной технологии выработки тепловой и электрической энергии наиболее перспективным с точки зрения обеспечения максимальной достоверности получаемых результатов является метод оценки эколого-экономической эффективности различных объектов, при реализации которого в качестве начального основного этапа принято считать [1, 2] реализацию метода оценки жизненного цикла исследуемого объекта. В качестве научной проблемы авторами выделена необходимость оценки жизненного цикла парогазотурбинных ТЭЦ для выбора оптимальной технологии выработки тепловой и электрической энергии. Целью исследования явилось определение основных этапов и соответствующих им характеристик для жизненного цикла парогазотурбинных ТЭЦ как объекта выработки тепловой и электрической энергии в структуре градостроительных комплексов различного назначения.

Материалы и методы. В основу исследований авторами положен метод оценки жизненного цикла объекта, с учетом системы управления качеством, методов теории выбора и оценки эколого-экономической эффективности различных объектов.

Результаты исследования. В результате исследований установлено, что:

– особый интерес с точки зрения выбора оптимальной технологии когенерации благодаря наличию множества технологических видов их реализации, представляют ТЭЦ;

– применительно к ТЭЦ вполне может быть использован метод оценки жизненного цикла;

– в качестве объекта анализа жизненного цикла авторами принята парогазотурбинная ТЭЦ как обладающая значительными преимуществами по сравнению с другими аналогичными технологиями;

– в результате анализа жизненного цикла парогазотурбинной ТЭЦ авторами установлено, что он включает три основных этапа: строительство (монтаж, наладка и ввод в эксплуатацию), эксплуатация и утилизация, которые занимают наибольшие весовые доли в общем жизненном цикле;

– для каждого из обоснованно выделенных этапов жизненного цикла парогазотурбинной ТЭЦ определены наиболее значимые процессы.

Обсуждение и заключение. Выполненный анализ жизненного цикла позволил установить, что жизненный цикл широко применяемой на практике парогазотурбинной ТЭЦ, представляющей особый интерес с точки зрения выбора оптимальной технологии, включает три основных этапа: строительство, эксплуатацию и утилизацию, которые занимают наибольшие весовые доли в общем жизненном цикле. При этом для каждого из обоснованно выделенных этапов жизненного цикла парогазотурбинной ТЭЦ определены и описаны наиболее значимые процессы.

Ключевые слова: жизненный цикл, теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), парогазотурбинная ТЭЦ, когенерация, этапы жизненного цикла, методы оценки жизненного цикла.

Для цитирования. Анализ жизненного цикла парогазотурбинных ТЭЦ / В. И. Беспалов, О. С. Гурова, Е. П. Лысова, Г. С. Гришин // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 4. — С. 32–43. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-4-32-43

Original article

Life Cycle Analysis of Steam and Gas Turbine CHP Plants

Vadim I. Bespalov ✉, **Oksana S. Gurova**, **Ekaterina P. Lysova**, **Grigoriy S. Grishin**

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ izos-rgsu@mail.ru

Abstract

Introduction. When choosing the optimal heat and electric power generating technology, the most promising in terms of ensuring maximum credibility of obtained results is the method of assessing the environmental and economic efficiency of various objects, which implies the application of the studied object life cycle assessment method to be the initial main stage. The authors tackle the problem of assessing the life cycle of steam and gas turbine CHP plants for selecting the optimal heat and electric power generating technology. The aim of the study is to define the main stages and their corresponding specifications of steam and gas CHP plants' life cycle as facilities generating heat and electric power within the structure of various purpose urban complexes.

Materials and methods. The authors' research is based on the object life cycle assessment method as well as on the quality management system and the theory of selecting and evaluating the various objects' environmental and economic efficiency.

Results. Based on the research, it was found that:

– CHP plants are of particular interest in terms of selecting the optimal cogeneration technology because many technological types of this energy are implemented there;

– the life cycle assessment method may well be implemented at CHP plants;

– the authors have taken a steam and gas turbine CHP plant as an object for the life cycle analysis because it has significant advantage over other similar technologies;

– the life cycle of a steam and gas turbine CHP plant includes three main stages: construction (erecting, setting-up and commissioning), operation and disposal, which have the largest share in the overall life cycle;

– the most significant processes have been identified for each of the distinguished life cycle stages of a steam and gas turbine CHP plant.

Discussion and conclusion. The performed life cycle analysis led to the conclusion that the life cycle of a steam and gas turbine CHP plant, the one commonly used in real life and representing particular interest in terms of choosing the optimal technology, has three main stages occupying the largest share in the overall life cycle: construction, operation and disposal. Besides, the most significant processes were identified and described for each of the distinguished life cycle stages of a steam and gas turbine CHP plant.

Keywords: life cycle, combined heat and power (CHP) plants, steam and gas turbine CHP plant, cogeneration, life cycle stages, life cycle assessment methods.

For citation. V. I. Bespalov, O. S. Gurova, E. P. Lysova, G. S. Grishin. Life cycle analysis of steam and gas turbine CHP plants. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning. — 2022. — vol. 1, no. 4, pp. 32–43. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-4-32-43

Введение. Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) в современных условиях представляют собой наиболее эффективные и экономичные энергетические объекты, позволяющие на основе реализации процесса когенерации совместно производить электрическую и тепловую энергии из одного и того же первичного источника [1, 2].

В качестве основных преимуществ реализации технологии когенерации выделяются следующие: экономия энергии топлива, снижение выбросов загрязняющих веществ и низкие затраты на природоохранные мероприятия. При этом в результате сравнения когенерации с технологией раздельной выработки тепловой и электрической энергии установлено (рисунок 1), что в первом случае обеспечивается экономия энергии топлива до 37 %, что, как следствие, приводит к снижению его расхода и соответствующих затрат на него [3,4]. Когенерация позволяет воздержаться от экономически неэффективных затрат на средства передачи энергии, к тому же исключаются потери при транспортировке энергии, так как энергогенерирующее оборудование установлено в непосредственной близости от потребителя.

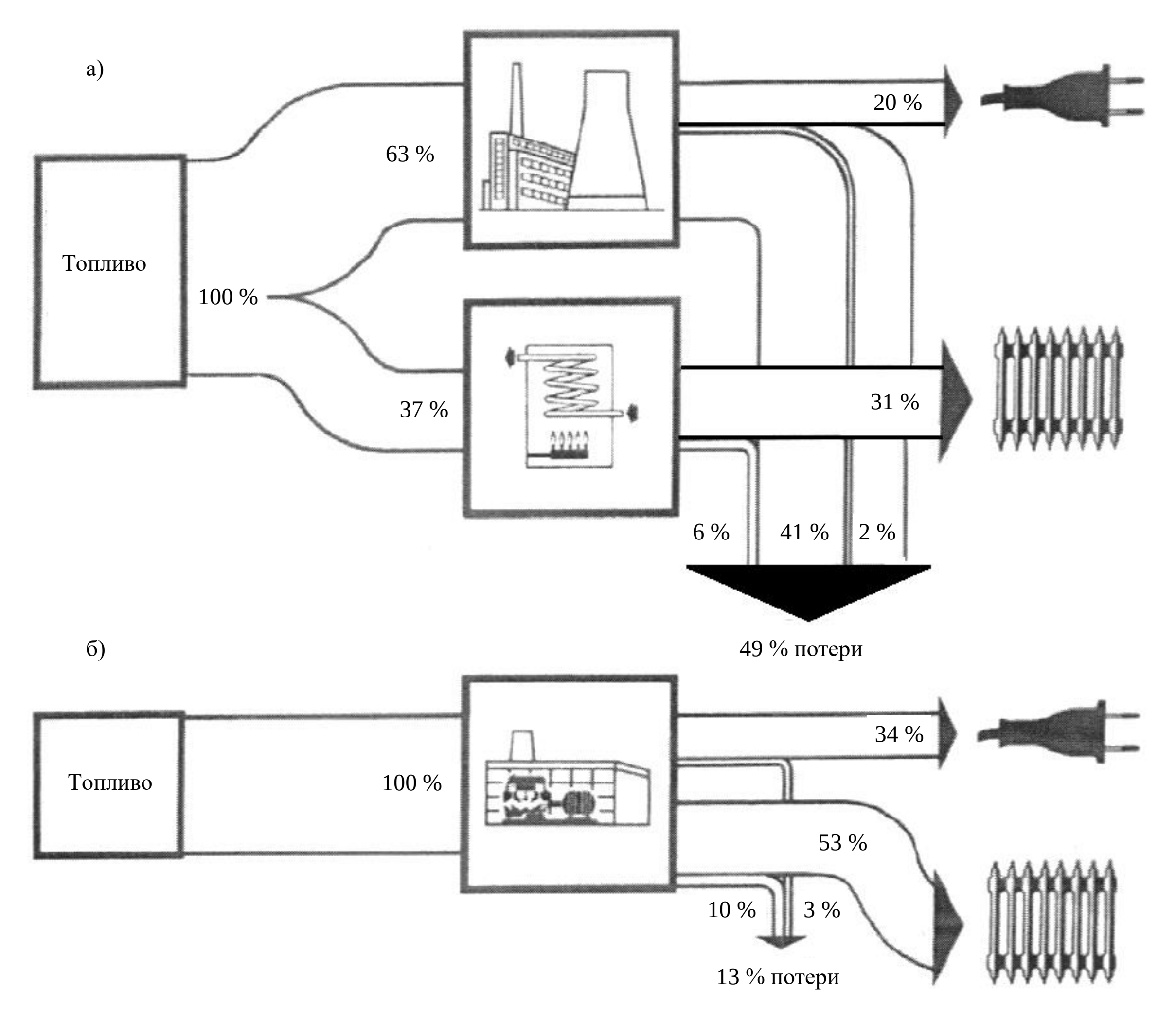


Рис. 1. Технология раздельной выработки тепловой и электрической энергии (а) и когенерация (б) (рисунок авторов)

Кроме того, когенерация обеспечивает возможность весьма гибко и достаточно быстро вносить изменения и дополнения в основную технологическую схему для наращивания мощностей, которое может выражаться как в незначительных, так и в достаточно масштабных конструктивных решениях. Это также связано с возможностью более оперативного регулирования параметров выработки электрической и тепловой энергии в зависимости от графика их потребления.

Когенерационные установки включают первичный двигатель, приводящий в движение электрогенератор, систему утилизации теплоты уходящих газов и вспомогательные системы. При этом в качестве первичного двигателя, как правило, применяют поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС), а также газовые турбины, двигатели Стирлинга, двигатели Зеебека и микротурбины.

Материалы и методы. В связи с тем, что когенерационные установки могут реализовываться различными технологиями, на начальном этапе исследования были рассмотрены их основные виды и особенности.

Одной из таких является установка с газовой турбиной, для которой в качестве топлива могут использоваться газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, пропан-бутан, мазут [5]. При этом четыре значения мощности находятся в диапазоне от 0,5 до 200 МВт. В свою очередь, отношение вырабатываемой тепловой энергии к электрической находится в диапазоне от 1,5:1 до 5:1. Для таких установок значения $КПД_{эл}$ находятся в диапазоне от 45 % до 60 %, а значения $КПД_{общ}$ изменяются в пределах от 75 % до 94 %.

Другого рода когенерирующей установкой является установка с микротурбиной, для которой в качестве топлива используется только газ, и в этом случае значения мощности находятся в диапазоне от 0,03 до 0,4 МВт. Отношение вырабатываемой тепловой энергии к электрической находится в диапазоне от 1,5:1 до 5:1, при этом значения $КПД_{эл}$ находятся в диапазоне от 24 % до 53 %, а значения $КПД_{общ}$ — от 80 % до 90 %. Установка с поршневым двигателем с воспламенением от сжатия была также описана в рамках настоящего исследования. В качестве топлива в таких установках используется газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, мазут. Значения мощности этих установок находятся в диапазоне от 0,2 до 20 МВт. В свою очередь отношение вырабатываемой тепловой энергии к электрической находится в диапазоне от 0.5:1 – 3:1. Для таких установок значения $КПД_{эл}$ находятся в диапазоне от 45 % до 55 %, а значения $КПД_{общ}$ изменяются в пределах от 75 % до 95 %. Также к рассмотрению принята установка на основе поршневого двигателя с воспламенением от искры, для которой в качестве топлива могут использоваться газ, биогаз, керосин. Значения мощности у таких установок находятся в диапазоне от 0,003 – 6 МВт. В свою очередь отношение вырабатываемой тепловой энергии к электрической находится в диапазоне от 1:1 – 3:1. Для этих установок значения $КПД_{эл}$ находятся в диапазоне от 38 % до 49 %, а значения $КПД_{общ}$ изменяются в пределах от 78 % до 93 %. И, наконец, из числа наиболее эффективных и экономичных когенерационных установок нами принята к рассмотрению установка с парогазовой турбиной (рис. 2), для которой в качестве топлива используются газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, пропан-бутановая газовая смесь. Значения мощности у таких установок находятся в диапазоне от 3 до 200 МВт. В свою очередь, отношение вырабатываемой тепловой энергии к электрической находится в диапазоне от 1:1 – 3:1. Для таких установок значения $КПД_{эл}$ находятся в диапазоне от 45 % до 65 %, а значения $КПД_{общ}$ изменяются в пределах от 83 % до 96 %.

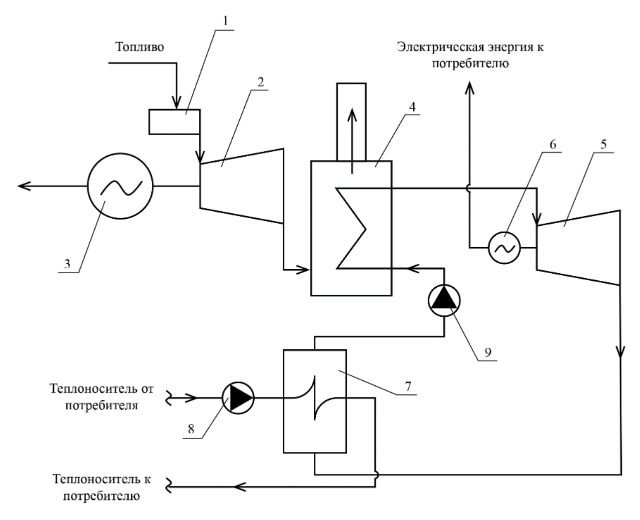


Рис. 2. Схема парогазотурбинной ТЭЦ (рисунок авторов)

Представляет особый интерес альтернатива двигателям внутреннего сгорания - двигатели наружного сгорания [4, 5]. На уровне прототипов наиболее изученным представляется двигатель Стирлинга (рис. 3), который включает тяговый поршень 2 и компрессионный поршень 9, расположенные в одном и том же цилиндре 1. Посредством внешнего двигателя за счет кривошипно-шатунного механизма 3 соответствующие поршни 2 и 9 приводятся в возвратно-поступательное движение. При этом в зонах с охладителем 6 и с нагревателем 8 тепловой камеры 10, связанных соответственно с зоной сжатия 4 и с зоной всасывания 5, происходят подача и отвод тепловой энергии, а по центру тепловой камеры 10 располагается регенератор 7. Основными преимуществами двигателя Стирлинга являются относительно низкий уровень звукового давления, низкие значения концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, достаточно широкий набор видов применяемого топлива и значительный потенциал запаса мощности.

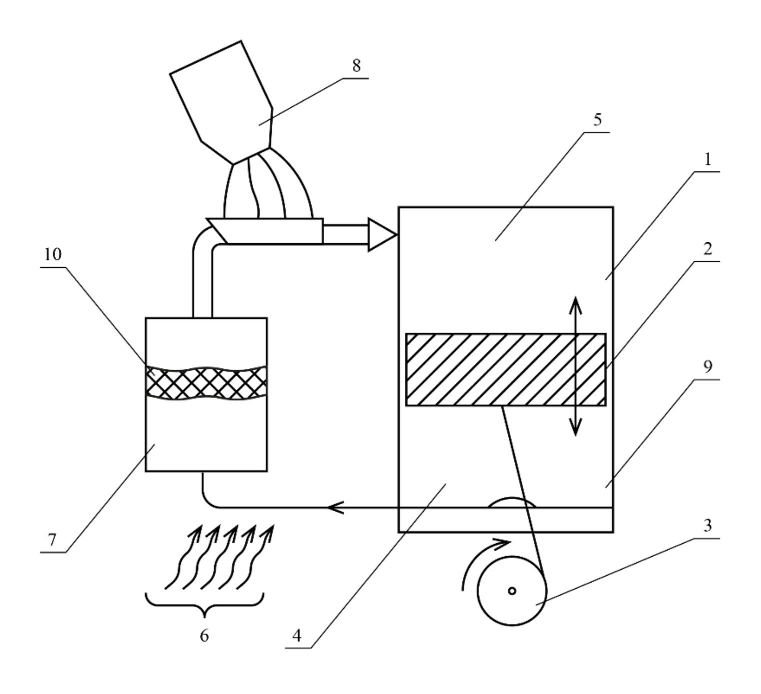


Рис. 3. Схема двигателя Стирлинга с поршнем двойного действия

1 – цилиндр; 2 – тяговый поршень; 3 – кривошипно-шатунный механизм; 4 – зона сжатия; 5 – зона всасывания; 6 – охладитель; 7 – регенератор; 8 – нагреватель; 9 – компрессионный поршень; 10 – тепловая камера

Следует подчеркнуть, что выявлены проблемы, которые не имеют приемлемого технического решения. При этом следует выделить две главные из них. Это нестабильная работа регенератора при ограниченности его размеров и необходимость обеспечения высокой степени жаростойкости тепловой камеры (10) регенератора (7) и тягового поршня (2). Решение этой проблемы, несомненно, возможно на основе применения новых сплавов и более эффективных теплообменников с увеличенным теплообменом. Однако этот двигатель, несмотря на его перспективность практического использования, в настоящий момент находится на стадии испытаний.

Таким образом, представленные выше установки, считаются небольшими и средними, работают с газовыми или дизельными ДВС. Они имеют значения электрической мощности от 0,005 до 5 МВт и тепловой мощности в пределах 0,0012 – 12 МВт от одного двигателя. А установки большой мощности с газовыми турбинами обладают электрической мощностью от 0,5 до 200 МВт, а их тепловая мощность в 2–3 раза больше по сравнению с электрической.

При выборе оптимальной технологии выработки тепловой и электрической энергии наиболее перспективным с точки зрения обеспечения максимальной достоверности получаемых результатов является метод оценки эколого-экономической эффективности различных объектов, при реализации которого в качестве

начального основного этапа принято считать реализацию метода оценки жизненного цикла исследуемого объекта [1, 2, 6]. Рассмотрим более подробно метод оценки жизненного цикла.

Использование метода оценки жизненного цикла [7, 8] любого объекта предполагает анализ материальных и энергетических потоков, который опирается на международные стандарты, которые оперируют основными понятиями: жизненный цикл, элементарный процесс, оценка жизненного цикла, и др., а также определяют принципы, структуру, цели и области применения оценки жизненного цикла. В оценки жизненного цикла входят сбор и оценка входных и выходных потоков, а также потенциальных воздействий на окружающую среду со стороны производственной системы на всех стадиях жизненного цикла продукции. При этом производственная система, представляющая собой совокупность материально или энергетически связанных единичных процессов, выполняет одну или более конкретных функций [6, 9].

При описании производственной системы необходимо учитывать, что она включает в себя описание единичных процессов, элементарных материальных, энергетических и информационных потоков и характеристик, направленных в систему или из нее, а также соответствующих потоков относительно полуфабрикатов, находящихся в процессе производства внутри системы [7,8]. Именно поэтому, предварительно исследуемые производственные системы необходимо разделять на совокупности единичных процессов. Необходимо отметить, что единичные процессы взаимосвязаны потоками продукции, потоками полуфабрикатов и потоками отходов, направляемых на переработку с последующим вторичным использованием, как с другими производственными системами, так и с соответствующими компонентами окружающей среды [6, 9]. Таким образом, в процессе оценки жизненного цикла, прежде всего, собирают данные именно для единичных процессов, представляющих собой минимально возможную часть производственной системы [7, 8]. Известно, что разделение производственной системы на единичные процессы упрощает идентификацию входных и выходных потоков [7, 8]. Следует также отметить, что такая система представляет собой физическую систему, и в каждом единичном процессе должны соблюдаться законы сохранения массы и энергии. Балансы массы и энергии в данном случае целесообразно рассматривать в качестве индикаторов, обеспечивающих возможности подтверждения достоверного описания единичного процесса. При этом границы производственной системы должны определять перечень единичных процессов, которые предполагается включить в оценку жизненного цикла. Идеальную процессную систему следует моделировать таким образом, чтобы входные и выходные потоки на ее границе были элементарными.

Таким образом, оценка жизненного цикла исследуемого объекта состоит из трех основных фаз:

– 1-я фаза: инвентаризационный анализ, включающий сбор и количественное определение входных и выходных потоков для данной производственной системы на всех стадиях жизненного цикла объекта;

– 2-я фаза: оценка воздействия на окружающую среду, направленная на идентификацию самих воздействий, оценку их величины и значимости со стороны производственной системы на каждый компонент окружающей среды;

– 3-я фаза: интерпретация результатов исследования, которая увязывает результаты инвентаризационного анализа и/или оценки воздействия с поставленной целью оценки жизненного цикла и с областью применения для того, чтобы сделать определенные выводы и дать полезные рекомендации.

Результаты исследования. Жизненный цикл парогазотурбинных ТЭЦ рассматривается как единая цепь последовательных и взаимосвязанных стадий каждого варианта когенерирующих установок. Процесс анализа осуществляется от разработки природных ресурсов для изготовления конструктивных элементов соответствующего варианта технологической схемы до утилизации этих элементов (турбины, двигателя,

генератора электрического тока, теплообменников, труб, фасонных частей, запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных приборов, устройств автоматики, теплоизоляции и т.п.).

В целом жизненный цикл любого объекта включает 12 этапов в соответствии с «кругом качества» [7, 8], а проведенный нами анализ жизненного цикла когенерирующей установки для ТЭЦ позволил выявить 11 этапов (рис. 4).

Для реализации каждого этапа жизненного цикла когенерирующей установки для ТЭЦ необходимо предварительно выполнить сбор и оценку входных и выходных данных, а также потенциальных негативных воздействий на окружающую среду рассматриваемого объекта на всех стадиях его жизненного цикла. При этом идентификацию входных и выходных данных когенерирующей установки для ТЭЦ упрощает ее разделение на элементарные процессы и отдельные конструктивные элементы.

В качестве входных данных должна использоваться информация (параметры) о материалах и энергии, изъятых из окружающей среды без их предварительного искусственного преобразования, а в качестве выходных данных должна использоваться информация (параметры) о материалах и энергии, которые выбрасываются в окружающую среду без их последующего искусственного преобразования.

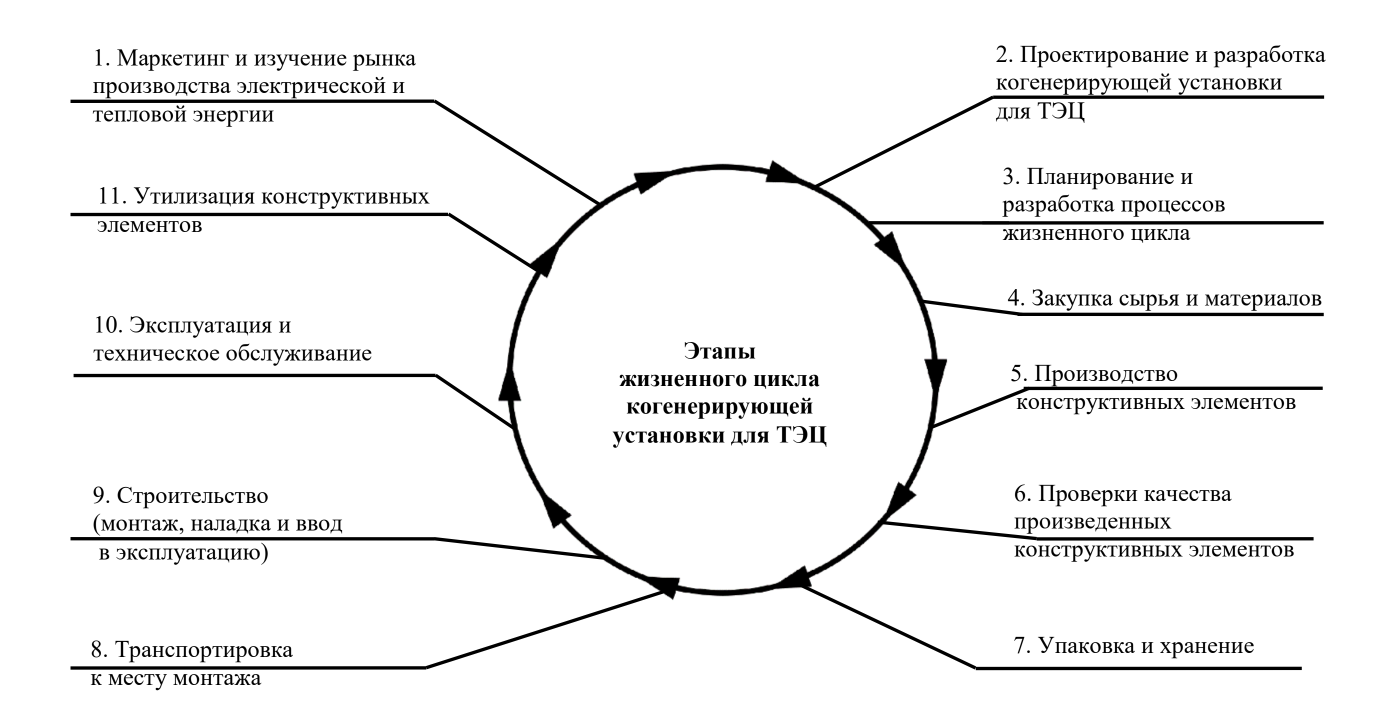


Рис. 4. Этапы жизненного цикла когенерирующей установки для ТЭЦ

Таким образом, применительно к когенерирующим установкам для ТЭЦ можно сделать выводы о следующих преимуществах метода оценки ее жизненного цикла:

– обеспечивается возможность обработки полученной информации в процессе оценки жизненного цикла когенерирующей установки для ТЭЦ с целью перспективного экономически и технологически эффективного принятия оперативных решений при ее производстве, эксплуатации и утилизации;

– обеспечивается возможность оценки экологической безопасности рассматриваемой установки на протяжении всего ее жизненного цикла, а, следовательно, намечать пути улучшения ее экологичности на различных этапах жизненного цикла.

В диапазоне больших значений мощности именно парогазотурбинная ТЭЦ является оптимальной с позиций КПД и материальных затрат установкой, работающей по принципу когенерации и обладающей следующими основными преимуществами:

– обладает возможностью работы установки на нескольких видах топлива;

– характеризуется широким диапазоном значений мощности;

– отдельная установка может обладать достаточно большими предельными значениями мощности (до 200 МВт);

– позволяет использовать различные виды теплоносителя;

– не требует системы охлаждения на основе жидкости;

– обладает весьма низкими значениями выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, позволяя обеспечивать экологическую безопасность;

– обладает максимальными среди установок большой мощности значениями электрического КПД (до 65 %).

Благодаря перечисленным выше преимуществам значительная доля современных видов установок когенерации в мировой практике принадлежит именно парогазотурбинным ТЭЦ. В основе технологии таких ТЭЦ заключена особенность выработки электроэнергии в большей доле по отношению к тепловой энергии. При этом (рис. 2) топливо поступает в камеру сгорания (1) газовой турбины (2), которая совершает механическую работу, передавая энергию основному генератору электрического тока (3), а выхлопные газы с определенным запасом теплоты после турбины 2 поступают в паровой котел (4), в котором генерируется пар с давлением до 80 атм и температурой до 500°C. Получаемый пар поступает в паровую турбину (5), передавая энергию дополнительному генератору электрического тока (6). Пар, уходящий из турбины поступает в сетевой теплообменник-конденсатор (7), конденсируется, и теплота направляется к потребителям на производственные нужды, отопление и горячее водоснабжение с помощью сетевого насоса 8. При этом конденсат с помощью циркуляционного насоса 9 возвращается в паровой котел (4). При этом электрический КПД таких установок может достигать 65 %, а общий КПД — до 96 %.

На рис. 2 рассмотрена общая технологическая схема парогазотурбинной ТЭЦ, хотя видов и конструктивных особенностей схем парогазотурбинных ТЭЦ может быть достаточно много. При таком многообразии схем парогазотурбинных ТЭЦ (таких видов когенерирующих установок) в настоящее время возникает задача выбора оптимальной из них. Причем критериями оптимизации в соответствии с результатами исследований [7, 8, 10] целесообразно принимать энергетический $E_{эн}$, экономический $E_{эк}$ и экологический показатели $E_{экол}$.

В основе такого выбора должен находиться анализ жизненного цикла каждого рассматриваемого варианта когенерирующих установок для парогазотурбинных ТЭЦ, который, в свою очередь, базируется на учете и формализации следующих параметров: мощности, режима работы, вида топлива, надежности, живучести, стоимости, экономической эффективности, выбросы загрязняющих веществ и экологическая эффективность. На протяжении всего жизненного цикла установки основным ориентиром является эколого-экономическая оценка и условия обеспечения экологической безопасности.

В качестве базового примера нами рассмотрена типовая парогазотурбинная ТЭЦ электрической мощностью 80 МВт. С целью выявления этапов и соответствующих им процессов, которые необходимо учитывать и которые можно не учитывать при проведении оценки жизненного цикла рассматриваемой ТЭЦ, нами проведен соответствующий предварительный анализ.

В результате этого анализа нами установлено, что жизненный цикл парогазотурбинной ТЭЦ будет включать следующие три основных этапа, которые являются наиболее значимыми: строительство (монтаж, наладка и ввод

в эксплуатацию), эксплуатация и утилизация. Причем для каждого из этих этапов определены наиболее значимые процессы (рис. 5).

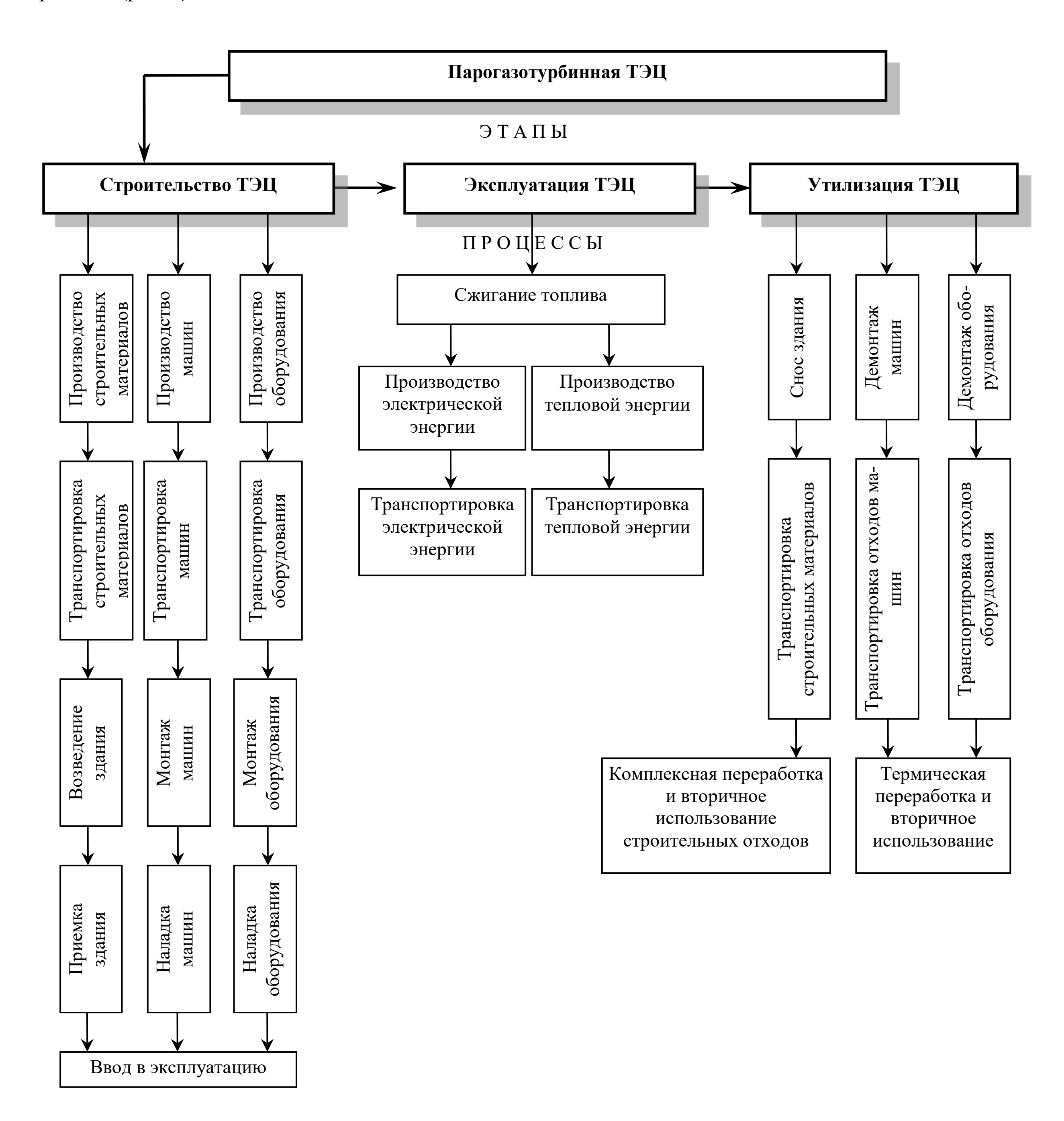


Рис. 5. Этапы жизненного цикла парогазотурбинной ТЭЦ

Обсуждения и заключения. Результаты исследования показали, что метод оценки жизненного цикла рассматриваемого объекта обладает рядом преимуществ.

Использование этого метода

– обеспечивает возможность оценки потенциальных негативных воздействий на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла объекта;

– обеспечивает возможность улучшения состояния окружающей среды производственной системы в различные моменты ее жизненного цикла;

– обеспечивает возможность использования информации, полученной в результате анализа жизненного цикла рассматриваемого объекта, для принятия эффективных решений по стратегическому планированию и определению приоритетов при проектировании и реконструкции объекта или производственного процесса;

– хотя метод оценки жизненного цикла устанавливает только общие структуру, принципы и требования к проведению исследований, однако он обеспечивает возможность выбора научных методик и подходов к исследованиям в каждом конкретном случае.

Таким образом, применительно к конкретному случаю, связанному с исследованиями особенностей когенерации тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, можно заключить, что:

– во-первых, метод оценки жизненного цикла вполне может быть использован применительно к ТЭЦ, реализующим процессы выработки тепловой и электрической энергии;

– во-вторых, в современных условиях наиболее эффективными и экономичными являются ТЭЦ, реализующие процесс когенерации электрической и тепловой энергии из одного и того же первичного источника. Именно эти ТЭЦ, благодаря наличию множества технологических видов их реализации, представляют особый интерес с точки зрения выбора оптимальной технологии;

– в-третьих, нами установлено, что в диапазоне больших значений мощности оптимальной с позиций КПД и материальных затрат установкой, работающей по принципу когенерации и обладающей значительными преимуществами, является парогазотурбинная ТЭЦ, которая принята авторами в качестве объекта анализа жизненного цикла;

– в-четвертых, в результате анализа жизненного цикла парогазотурбинной ТЭЦ нами установлено, что он включает три основных этапа: строительство (монтаж, наладка и ввод в эксплуатацию), эксплуатация и утилизация, которые занимают наибольшие весовые доли в общем жизненном цикле;

– в-пятых, для каждого из обоснованно выделенных этапов жизненного цикла парогазотурбинной ТЭЦ определены наиболее значимые процессы:

– для этапа строительства ТЭЦ: процессы производства строительных материалов, машин и оборудования; процессы транспортировки строительных материалов, машин и оборудования; процессы возведения здания, монтажа машин и оборудования; процессы приемки здания, наладки машин и оборудования; процесс ввода в эксплуатацию;

– для этапа эксплуатации ТЭЦ: процесс сжигания топлива; процесс выработки электрической энергии; процесс выработки тепловой энергии; процессы транспортировки электрической и тепловой энергии;

– для этапа утилизации ТЭЦ: процесс сноса здания; процессы демонтажа машин и оборудования; процесс транспортировки строительных отходов; процессы транспортировки отходов машин и отходов оборудования; процесс комплексной переработки и вторичного использования строительных отходов; процессы термической переработки и вторичного использования отходов машин и отходов оборудования.

Библиографический список

1. Bespalov, V. Evaluation of ecological and economic efficiency of environmental management in construction / V. Bespalov, T. Kushnarenko, O. Paramonova // E3S Web of Conferences. — 2019. — Vol. 135. — Art. 04030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913504030.

2. Соснина, Е. Н. Экологическая оценка жизненного цикла мини-тэц с различными типами двигателей / Е .Н. Соснина, О. В. Маслеева, Е. В. Крюков, Н. И. Эрдили // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2021. — № 4. — С. 206–214.

3. Танасийчук, О. В. Тепловые электростанции / О. В. Танасийчук, Л. А. Кирьянова // В сборнике: сборник статей международной научно-практической конференции «В мире науки и инноваций»: в 8 частях. — 2016. — С. 178–180.

4. Баева, М. Н. Проблема распределения затрат топлива на производство электрической и тепловой энергии / М.Н. Баева // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. — 2013. — Т. 1. — № 1. — С. 44–47.

5. Соснина, Е. Н. Экологическое воздействие мини-ТЭЦ с газопоршневыми и дизельными двигателями на окружающую среду / Е. Н. Соснина, О. В. Маслеева, Г. В. Пачурин, Д. А. Филатов // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 6. — С. 76–80.

6. Bespalov, V. Analysis of the providing environmental safety supervision in construction and reconstruction of facilities in the urban territories / V. Bespalov, E. Kotlyarova // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 129. — Art. 05005. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005.

7. Маслеева, О. В. Жизненный цикл ВИЭ: экологическая составляющая / О. В. Маслеева, Г. В. Пачурин // Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. — 2015. — № 7. — С. 20–23.

8. Щетинина, Е. Д. Определение этапа жизненного цикла продукта и особенности маркетинговых мероприятий на различных этапах жизненного цикла / Е. Д. Щетинина, А. Е. Шемякина // Белгородский экономический вестник. — 2021. — № 1 (101). — С. 59–63.

9. Bespalov, V. Analysis of methodological approaches and development of principles for describing properties characterizing the dynamics of the emission and spreading of toxic components of plants of the fuel and energy complex / V. Bespalov, O. Gurova, M. Volodina, L. Alekseenko // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 226. — Art. 04009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201822604009.

10. Малая, Э. М. Создание оптимальных проектных решений при использовании комбинированной генерации различных видов энергии / Э. М. Малая, Е. И. Николаева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. — 2019. — № 4 (37). — С. 222–226.

11. Соснина, Е. Н. Экологические проблемы возобновляемых источников энергии: монография / Е. Н. Соснина, О. В. Маслеева, Г. В. Пачурин, А. Ю. Кечкин, Н. Н. Головкин. — Н. Новгород: НГТУ, 2014 — 164 с.

Поступила в редакцию 10.11.2022

Поступила после рецензирования 19.11.2022

Принята к публикации 19.11.2022

Об авторах:

Беспалов Вадим Игоревич — заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru

Гурова Оксана Сергеевна — профессор кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, ScopusID, ORCID, okgurova@yandex.ru

Лысова Екатерина Петровна — доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, katerina.lysova0803@gmail.com

Гришин Григорий Сергеевич — ассистент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), daprivet1613@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

В.И. Беспалов, О.С. Гурова — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, анализ результатов исследований, корректировка выводов. Е.П. Лысова, Г.С. Гришин — графическое оформление, доработка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.